Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Government of Canada
Canadian Forestry Service

Inventaire et prévisions de croissance de la forêt de Petawawa

G.M. Bonnor et S. Magnussen

Rapport d'information PI-X-66F
Institut forestier national de Petawawa

IFNP

87-04660/

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessistent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux ou des services forestiers des provinces. Les projets de recherche et les services techniques de l'institut sont regroupés sous six principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE – Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER – Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LA RESSOURCE FORESTIÈRE – Communément appelé FORSTATS, ce programme assure la coordination de l'acquisition, de la normalisation et de la publication de statistiques nationales sur les forêts du Canada. Il est aussi chargé de répondre aux demandes de renseignements de la clientèle.

SYSTÈMES DE DONNÉES FORESTIÈRES – Ce programme fournit la compétence et les systèmes informatisés nécessaires à la gestion des données acquises dans le cadre de FORSTATS et des projets de recherche à l'IFNP. Il comprend en outre un service de consultation en informatique pour les hauts fonctionnaires du SCF.

COMMUNICATIONS – Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt national de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE – Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long terme.

Page Couverture:

Institut forestier national de Petawawa
Superficie forestière aménagée - Types forestiers majeurs

INVENTAIRE ET PRÉVISIONS DE CROISSANCE DE LA FORÊT DE PETAWAWA

Rapport d'information PI-X-66F

G.M. Bonnor[1] et S. Magnussen[2]

[1]Scientifique, Institut forestier national de Petawawa,
Chalk River, Ontario K0J 1J0

[2]Boursier en recherche, Université royale d'art vétérinaire et d'agriculture,
Copenhague, Danemark. Adresse actuelle: Institut forestier
national de Petawawa, Chalk River, Ontario K0J 1J0

1986

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1986
N° de catalogue Fo46-11/66-1986F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-94074-1

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

N° de téléphone: 613-589-2880

This publication is also available in English under the title **Inventory and growth predictions of the Petawawa forest.**

Table des matières

v Résumé/Abstract

1 Introduction

2 La forêt

4 Mesures dendrométriques

4 L'inventaire forestier de 1980
6 Nouvelles mesures des placettes en 1985

7 Modèle de croissance

8 Expression analytique
9 Méthodes

12 Résultats

13 Structure de la forêt en 1980
18 Croissance et production

23 Discussion

23 Méthodologie
25 Résultats

27 Conclusions

27 Références

31 Annexes

Tableaux

11 1. Exemple de tableaux de fréquences
11 2. Exemple de distributions de diamètres et de valeurs d'accroissement
14 3. Résumé des superficies, 1980
14 4. Résumé par types forestiers et strates, 1980
16 5. Résumé par espèces principales, 1980
17 6. Tableau d'inventaire et de stock, 1980
19 7. Volumes par strates
21 8. Tableau de stock, 1985-1995
22 9. Tableau d'inventaire, 1985-1995
23 10. Éléments de la croissance des peuplements, 1980-1985

Figures

3 1. Terres forestières du fédéral à Petawawa - zone de l'inventaire de 1980.
6 2. Placettes d'une unité d'échantillonnage.
16 3. Superficies et volumes par classes de développement.
18 4. Superficies et volumes des classes d'indices de stations.
20 5. Prévisions de volume et superficies par types forestiers.

RÉSUMÉ

En 1980, un inventaire d'aménagement a été produit pour une étendue de forêt mixte de la vallée de l'Outaouais. La phase de l'échantillonnage sur le terrain a été modifiée pour permettre la mesure des arbres de taille non marchande et le contrôle des placettes d'échantillonnage. Ce contrôle a été effectué en 1985.

Les données de l'inventaire ont été utilisées pour la compilation des estimations de la superficie et du volume en fonction de la strate, du type forestier et d'autres critères de classement. Elles ont également été employées avec les résultats des contrôles effectués en 1985 pour établir des matrices de la croissance prévue indiquant l'accroissment (recrutement, stagnation ou croissance par classes de 1 cm) ou la mortalité des arbres en fonction du diamètre à hauteur de poitrine. Les matrices et les distributions du diamètre déterminées en 1985 ont été ensuite employées pour calculer, par multiplication, les distributions prévues du diamètre pour 1990, puis les distributions prévues pour 1995. Les valeurs obtenues ont servi à calculer le volume et l'accroissement prévus par espèce, classe de dimension, ou suivant d'autres critères de classement pour 1990 et 1995.

Les résultats indiquent que le pin blanc (Pinus strobus L.) est l'espèce dominante, constituant 35 % du volume, lequel s'élevait en 1985 à 210 m^3/ha. La dominance du pin blanc devrait augmenter au cours des 10 prochaines années et atteindre 37 %. Globalement, l'accroissement annuel devrait être de 4,3 m^3/ha ou de 2 %, le pin blanc en assurant près de la moitié.

ABSTRACT

A management type of forest inventory was completed in 1980 for a mixedwood forest area in the Ottawa Valley. The field sampling phase of the inventory was modified to permit the measurement of submerchantable trees and the remeasurement of sample plots. This latter task was done in 1985.

The inventory data were used to compile area and volume estimates by strata, forest type, and other classifiers. The data were also used with the 1985 plot measurements to predict future growth matrices, showing the growth (ingrowth, stagnation, or growth by 1 cm classes) or mortality of trees by stem diameter at breast height. The matrices were multiplied by 1985 stem diameter distributions to yield 1990 stem diameter distributions, which when multiplied by the matrices yielded 1995 distributions. The resulting values were used to derive volume and increment, by species, size classes, and other classifiers, for 1990 and 1995.

Results indicate that white pine (Pinus strobus L.) is the dominant species, with 35% of the 1985 volume of 210 m^3/ha. This dominance is expected to increase over the next 10 years, to 37%. The overall growth rate is expected to be 4.3 m^3/ha·yr or 2%, with white pine contributing almost half the growth.

INVENTAIRE ET PRÉVISIONS DE CROISSANCE DE LA FORÊT DE PETAWAWA

INTRODUCTION

De nos jours plusieurs types d'inventaires forestiers sont utilisés au Canada, mais l'inventaire d'aménagement forestier est le plus couramment utilisé et le plus important. Il a évolué au cours des années 50 en réponse au besoin de meilleures données sur les ressources forestières canadiennes. Il se distingue des autres par l'utilisation et l'interprétation de photographies aériennes ainsi que par la cartographie de peuplements complets.

L'inventaire d'aménagement forestier porte mal son nom; les renseignements qu'il fournit ont principalement été utilisés pour exploiter les forêts. Bien que cela soit surtout lié au fait que l'aménagement ne soit pas perçu comme un besoin, il est également vrai que l'inventaire fournit des données à caractère statique, c'est-à-dire des quantités mesurées à un moment précis. De telles données sont insuffisantes pour un bon aménagement forestier. Toutefois, avec des modifications relativement mineures, l'inventaire peut être utilisé pour recueillir des données à caractère dynamique, c'est-à-dire des données sur les modifications de la forêt.

L'une des plus importantes de ces modifications est la croissance de la forêt; quel est l'accroissement annuel moyen (AAM) ou l'accroissement annuel courant (AAC)? Comment la croissance est-elle répartie entre les espèces, les classes de fertilité, les classes de dimensions, les classes d'âge, les types forestiers et entre les éléments de croissance des peuplements comme le recrutement, la croissance des survivants et la mortalité? Les réponses à ces questions et à d'autres questions analogues peuvent souvent être déduites d'analyses des modifications des distributions de diamètres stratifiées par espèces et par classes de fertilité. Le cubage et la surface terrière d'un peuplement peuvent être calculés à partir des nombres d'arbres dans chaque classe de diamètres, qui sont également utilisés pour caractériser les volumes de bois par classes de dimensions et par catégories de produit.

Les buts de l'étude étaient les suivants:

1) modifier un inventaire d'aménagement forestier afin d'obtenir des données sur la croissance, mettre en oeuvre l'inventaire, et documenter la méthodologie et les résultats; et

2) mettre au point un modèle informatisé pour la prévision de la croissance par classes de diamètres, mettre en oeuvre le modèle au moyen des données obtenues en (1) et documenter la méthodologie et les résultats.

Il était nécessaire d'apporter deux modifications à l'inventaire, toutes deux reliées aux placettes d'échantillonnage; premièrement au moins certaines des placettes d'échantillonnage mesurées pendant l'inventaire devaient être rendues permanentes et mesurées de nouveau, et deuxièmement des données pour les petits arbres subcommercialisables devaient être obtenues

dans chacune des placettes d'échantillonnage permanente (PEP). Alors que ces deux modifications étaient nécessaires pour des prévisions de croissance, elles ne suffisaient pas pour une mise à jour complète de l'inventaire. Pour en arriver là l'on devait également obtenir des données sur les modifications des superficies et concevoir un nouveau système d'inventaire. Bonnor et Magnussen (1986) décrivent un tel système.

Le modèle présenté ici est de type à matrice et tient compte des arbres à l'intérieur d'une classe donnée de diamètres et de leur passage aux classes supérieures jusqu'à leur mort. Notre méthode constitue un mélange d'améliorations et de l'application des méthodes existantes.

LA FORÊT

La zone de l'inventaire fait partie d'une étendue d'environ 35 000 ha appartenant au gouvernement du Canada depuis 1904. Approximativement 28 % de cette superficie est occupée par le Service canadien des forêts (SCF) et le reste par le ministère de la Défense nationale (MDN). Ces terrains sont situés environ à mi-chemin entre Ottawa et North Bay ou à 35 km au nord-ouest de Pembroke (Ontario) (fig. 1).

La région se trouve au rebord méridional du Bouclier précambrien au socle rocheux principalement composé de gneiss granitoïde. La topographie a été marquée par la glaciation et l'écoulement post-glaciaire des eaux de fusion. Les entités physiques présentes varient de collines aux ondulations adoucies composées de sable loameux modérément profond et imprégné de galets et de fragments de roches à des collines escarpées recouvertes de minces sols sablonneux et présentant de nombreux affleurements rocheux.

D'une manière caractéristique le climat est continental. La température annuelle moyenne est de 5 °C et les précipitations s'établissent en moyenne à 780 mm (230 mm sous forme de neige). La période sans gel est d'une durée de 100 jours et la saison de croissance (nombre de jours pour lesquels la température est supérieure à 5,6 °C) dure 185 jours (Boughner, 1964).

Une suppression efficace des incendies a permis de maintenir à un niveau très bas les pertes dues au feu. La rouille vésiculeuse du pin blanc a causé des dégâts importants dans la zone occupée par le pin, et les infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont causé des pertes substantielles chez le sapin baumier et l'épinette au cours des deux dernières décennies.

La forêt à maturité principalement mélangée est située dans la section Ottawa centre L.4C de la région forestière des Grands-lacs-Saint-Laurent (Rowe, 1973). Elle est caractérisée par la présence de pins blancs (Pinus strobus L.), de pins rouges (Pinus resinosa Ait.), de peupliers faux-trembles (Populus tremuloides Michx.), et de bouleaux à papier (Betula papyrifera Marsh.). Le chêne rouge (Quercus rubra L.) et le pin gris (Pinus banksiana Lamb.) dominent aux emplacements plus secs et plus pauvres. Une liste complète des espèces, des noms vernaculaires et scientifiques, et des codes est fournie à l'annexe 1.

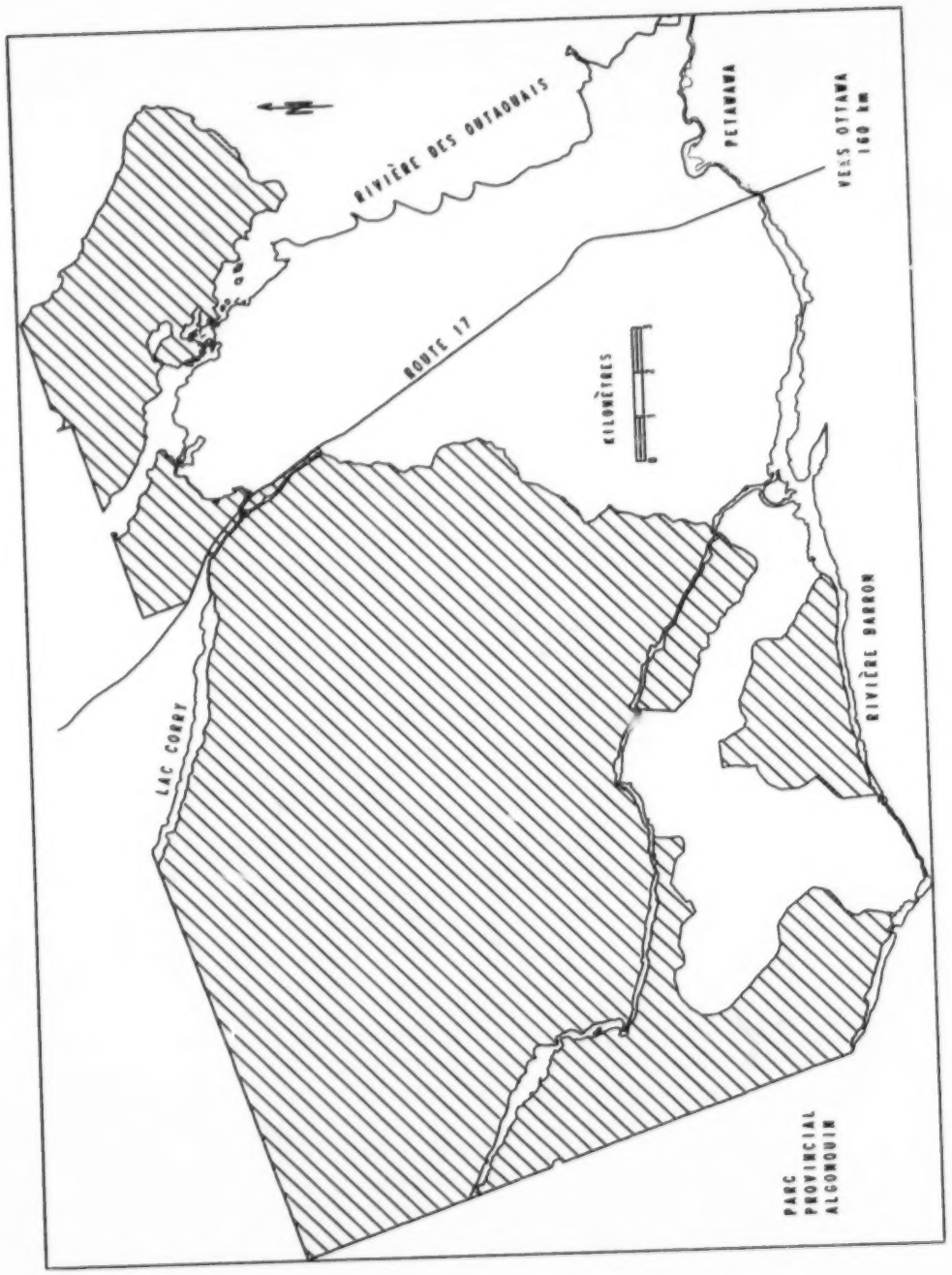


Figure 1. Terres forestières du fédéral à Petawawa - zone de l'inventaire de 196..

Ces terres forestières ont été levées pour la première fois de 1917 à 1920 et une carte forestière fut préparée à partir des levés en 1920. Un inventaire par échantillonnage linéaire effectué de 1925 à 1931 a été résumé en 1933 et l'on a préparé un plan de travail. La zone a également été divisée en blocs et parcelles à des fins de gestion. L'on a recueilli en même temps des données sur la croissance et un rapport a été rédigé (Anon., 1937). Une nouvelle carte forestière a été dressée en 1941 à partir de photographies aériennes prises en 1939 et cette carte a été utilisée avec les données de l'inventaire précédemment mentionné pour la préparation d'un plan d'aménagement (Bickerstaff, 1948). En 1961 l'on a dressé une carte forestière de mise à jour d'après des photos aériennes prises en 1959 et un échantillonnage supplémentaire sur le terrain (van Slyke, 1960); l'on a également préparé des tableaux d'inventaire et de stock pour la partie de la forêt occupée par le SCF. Un inventaire analogue a été complété en 1967 pour la partie occupée par le MDN. Aucun autre inventaire n'a été effectué jusqu'à celui-ci (1980) qui a servi de base aux ultérieurs plans d'aménagement (Hall, 1982; Horton et Horton, 1983).

L'on trouve des renseignements sur la croissance et la production dans des rapports par Smithers (1954), Horton et Bedell (1960) et Stiell (1984). Toutefois ces rapports de recherche se concentrent sur des espèces individuelles (pin rouge et pin blanc); ils ne fournissent pas la couverture générale nécessaire pour la présente étude.

MESURES DENDROMÉTRIQUES

La présente section décrit les deux phases de mesure de l'étude. Dans le cadre de la première phase (1980) l'on a complété un inventaire dit d'aménagement. Cet inventaire a fourni des données détaillées sur les superficies et les volumes. Pendant la deuxième phase (1985) les placettes d'échantillonnage permanente (PEP) ont été mesurées de nouveau et l'on a compilé les données sur la croissance.

Quoique l'inventaire ait été conçu pour l'obtention d'estimations du volume de bois et de la biomasse, ce rapport ne présente que les premières. Les résultats des compilations pour la biomasse ont été décrit par Alemdag et Bonnor (1985).

L'inventaire forestier de 1980

L'inventaire canadien d'aménagement est caractérisé par une succession d'étapes normalisées. Ces étapes sont décrites ci-après avec les modifications et les spécifications détaillées applicables au présent inventaire.

a) Cartographie de base

L'on a dressé une carte planimétrique de base de la région à l'échelle 1/20 000. Cette carte présente les entités géographiques comme les cours d'eau, les lacs et les routes et, en surimpression, un quadrillage de Projection transversale universelle de Mercator (UTM) à des intervalles de 1 km.

b) Photographies aériennes

L'on a obtenu et interprété des photographies aériennes panchromatiques à l'échelle 1/20 000 pour l'ensemble de la région; les limites de peuplements individuels ont été tracées et les caractéristiques de chaque peuplement (p. ex., type de couvert, âge, emplacement) ont été interprétées. L'on a utilisé un système de classification des terres et forêts (annexe 2) basé sur le système d'inventaire des ressources forestières de l'Ontario.

c) Carte forestière

L'information relevée sur les photos aériennes a été transposée sur la carte de base. La carte forestière résultante a été numérisée, c'est-à-dire que les limites et les caractéristiques de chaque polygone ou autre entité, incluant les peuplements, ont été converties en numérique et mises en mémoire dans l'ordinateur. L'on a ensuite calculé la superficie de chacun des polygones et produit des résumés par zone. L'on présente à l'annexe 3 un exemple de résumé par zone sous forme de tableau.

d) Échantillonnage

L'on a choisi un échantillonnage aléatoire simple pour l'estimation du volume de bois (et de la biomasse). L'échantillonnage retenu prévoyait la reprise des mesures. L'on a attribué à un tiers des unités d'échantillonnage des identificateurs permanents sur le terrain. Cet échantillonnage est une variante du tirage avec remise partielle (TRP).

Même si l'échantillonnage de base ne prévoyait aucune stratification il fut décidé, à des fins de compilation, de regrouper les peuplements en strates et en types forestiers.

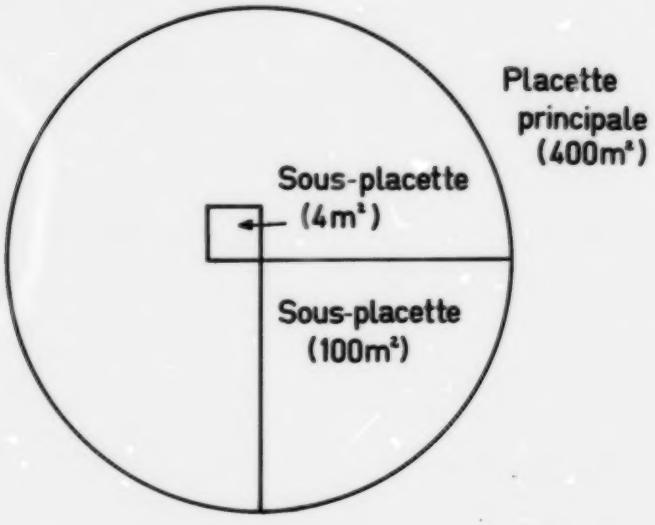
Pendant la phase des travaux sur le terrain l'on a mesuré au total 340 unités d'échantillonnage. Chaque unité était composée de trois placettes (fig. 2): une placette principale circulaire de 400 m^2, une placette en forme de pointe de tarte de 100 m^2 et une placette de régénération de 4 m^2. Dans la placette principale l'on a mesuré les arbres d'un diamètre à hauteur de poitrine (dhp) d'au moins 8,1 cm; l'on a déterminé l'espèce, mesuré le dhp et mesuré ou estimé la hauteur de l'arbre. De plus 2 ou 3 arbres ont été forés pour en déterminer l'âge et l'on a noté les caractéristiques du peuplement, du sol et de la topographie.

Dans la placette de 100 m^2, les gaules (dhp 0 à 8 cm) ont été mesurées; l'on a totalisé les nombres de tiges par espèce et par classe de dhp de 2 cm. Dans la placette de 4 m^2 l'on a totalisé toutes les tiges ligneuses en deux classes de hauteur: 30 à 80 cm et 80 à 130 cm. L'on a utilisé uniquement les données des placettes principales pour l'estimation du volume de bois tandis que les données des trois placettes ont été utilisées pour l'estimation de la biomasse.

e) Compilation

Les volumes des arbres commercialisables (hauteur de la souche 30 cm, diamètre minimum au fin bout à l'intérieur de l'écorce 7 cm) ont été

Figure 2. Placettes d'une unité d'échantillonnage.



calculés à partir du dhp à l'aide d'équations locales pour le volume dérivées des équations ordinaires de Honer et al. (1983). Les hauteurs (H) ont été estimées à partir des diamètres (D) au moyen de la formule

$$H = 1,3\ e^{(a-b/D)}$$

où les coefficients <<a>> et <<b>> étaient déterminés par analyse de régression pour des espèces individuelles. Les statistiques pertinentes sont présentées à l'annexe 4.

Les volumes d'arbres ainsi obtenus ont été totalisés par espèce pour chaque placette. Ces totaux ont ensuite été utilisés pour calculer des volumes moyens (m^3/ha) et des erreurs d'échantillonnage pour un certain nombre de catégories, incluant trois types forestiers, 13 strates et des classes d'âge et de fertilité. Tous les volumes calculés étaient des volumes commercialisables bruts; les dimensions minimales des arbres étaient: dhp 10,2 cm, hauteur de la souche 30 cm et diamètre minimum au fin bout à l'intérieur de l'écorce 7,0 cm.

À titre d'étape finale les moyennes des volumes ont été combinées aux superficies antérieurement obtenues pour obtenir des volumes totaux pour les diverses catégories. Les formules pour les calculs des moyennes, des totaux et des variances sont données à l'annexe 5.

Nouvelles mesures des placettes en 1985

Les 113 placettes d'échantillonnage permanentes ont été mesurées de nouveau au début de 1985, soit cinq saisons de croissance après l'inventaire initial. Les mesures ont été effectuées suivant les méthodes décrites pour l'inventaire de 1980, mais avec les additions suivantes:

a) la détérioration de la placette, le cas échéant, a été notée. Les chablis et les détériorations attribuables à l'exploitation forestière ont été les seuls types rencontrés;

b) le statut de l'arbre (classe de cîme) et son état (signes de carrie, détériorations attribuables aux machines) ont été notés; et

c) les arbres recrutés ont été identifiés de manière permanente.

De plus des cartes des détériorations de 1980 à 1985 ont été dressées et l'on a compilé des résumés par zone (non utilisés dans la présente étude).

Sur le terrain l'équipe a comparé les mesures du diamètre et les codages d'espèces de 1980 et 1985, et était en mesure de signaler et de corriger immédiatement les erreurs. Les données ont été davantage mises en forme et validées au bureau après quoi l'on a calculé les volumes d'arbres individuels. L'ensemble résultant de données (dont un exemple figure à l'annexe 6) a été utilisé pour une gamme de calculs d'accroissement; les calculs pertinents sont décrits plus loin dans le présent rapport.

MODÈLE DE CROISSANCE

La modélisation de la croissance s'effectue suivant un grand nombre de méthodes différentes. Elles sont toutefois toutes caractérisées par la recherche d'un modèle qui décrive le processus de la croissance dans la réalité afin de permettre de prédire des situations futures à partir de renseignements sur le passé. Tous les modèles de ce genre englobent les trois éléments fondamentaux qui sont l'implantation, la croissance et la mortalité des arbres. Les modèles diffèrent par leur résolution (modèles pour arbres individuels ou modèles pour peuplements), par le nombre de variables indépendantes qu'ils comportent (p. ex. âge, qualité stationnelle, dimensions des arbres, etc.) et par le niveau des contraintes de croissance (p. ex. effets des dimensions des arbres et de la structure du peuplement sur l'accroissement) (Clutter et al., 1983; Munro, 1974).

L'approche que nous avons retenue consistait à estimer la croissance et la structure future d'une forêt d'après des modifications des fréquences des diamètres qui résultent du passage des arbres d'une classe de diamètres à une autre. En présence de distributions de diamètres de formes régulières ce processus peut être exprimé mathématiquement (Bailey et Dell, 1973; Hyink et Moser, 1983; Moser, 1972, 1973). Toutefois, même si les fréquences des arbres portées sur graphiques peuvent s'ajuster à un modèle de distribution connu, l'on observe généralement des déviations évidentes qui causent des écarts au niveau des prévisions. Pour la présente étude nous avons basé nos prévisions de croissance sur ces principes, mais au lieu de formuler les modèles mathématiques pour les distributions de diamètres, nous avons choisi de décrire la croissance comme un processus stochastique: les passages d'arbres dans le passé d'une classe de diamètres à une autre sont utilisés directement pour prédire les passages futurs, sans aucun recours à des fonctions de probabilités de densité. Selon les hypothèses concernant les propriétés du modèle, cette méthode de prévision peut être considérée comme étant une modification de la méthode de projection du tableau d'inventaire (Husch et al., 1972; Fairweather, 1985), comme un modèle de Markov (Bruner et Moser,

1973; Peden, 1973), ou simplement comme une matrice d'accroissement (Buongiorno et Michie, 1980; Michie et Buongiorno, 1984; Harrison et Michie, 1985). Pour la présente étude l'on a retenu cette dernière méthode; aucune hypothèse a priori n'a été formulée concernant le modèle.

Expression analytique

Des distributions futures de diamètres ont été prévues à partir d'une distribution initiale et d'une matrice de probabilités de transition:

$$[D^{n+5}] = [D^n] * [P]$$

où $[D^{n+5}]$ = vecteur de distribution de diamètres pour l'année n+5 donnant les fréquences (tiges/ha) par classes de dhp de 1 cm

$[D^n]$ = vecteur de distribution de diamètres pour l'année n

$[P]$ = matrice de probabilités de transition (matrice d'accroissement) avec éléments P_{ij}

Chacun des éléments P_{ij} est dérivé comme étant la proportion des arbres de la classe i qui sont passés à la classe j au cours des cinq dernières années. Dans la mesure où l'accroissement dans le passé récent est le même que l'accroissement futur immédiat, l'on suppose que p_{ij} représente également l'accroissement futur; l'on peut considérer qu'il s'agit de la proportion des arbres - ou de la probabilité qu'un seul arbre - de la classe i qui passeront à la classe j au cours des cinq prochaines années.

Afin de faciliter l'analyse numérique, l'on a utilisé des classes d'accroissement; plutôt que de faire passer l'arbre de la classe i de diamètres à la classe j de diamètres, l'on considère qu'il franchit j-i classes d'accroissement, où j-i = 0, 1, 2, ... Le nombre de classes d'accroissement dépendra évidemment de l'étendue de chacune des classes, de l'intervalle de temps et de la vitesse d'accroissement de l'arbre.

L'explication qui précède n'est rattachée qu'à un seul des trois éléments de la croissance des peuplements, l'accroissement des arbres survivants. Toutefois elle convient également pour l'élément mortalité, c'est-à-dire pour les arbres qui meurent pendant l'intervalle de cinq années. La seule modification est l'addition d'une classe M d'accroissement, mortalité, à la matrice d'accroissement [P]. Le troisième élément de la croissance, le recrutement, peut être traité de manière analogue par l'addition d'une ou de plusieurs classes de diamètres des petits arbres, les arbres dits subcommercialisables. La prudence est toutefois conseillée lors du calcul des proportions et pour les analyses; les proportions se rapportent aux arbres accédant aux plus petites classes commercialisables, non au nombre de classes franchies. De plus, comme cela sera illustré au moyen d'un exemple, l'étendue de la (des) classe(s) subcommercialisable(s) peut être différente de celle des classes commercialisables, ce qui donne des proportions d'un ordre de grandeur différent.

Méthodes

Les données de base disponibles pour chaque PEP étaient le dhp en 1980 (d_{80}) et le dhp en 1985 (d_{85}) de chacun des arbres ainsi que des données sur les arbres recrutes, les arbres morts et le statut des arbres et de la placette. Dans le cas des placettes non détériorées, c'est-à-dire les placettes n'ayant pas été exploitées et n'ayant pas subi de chablis par le vent, ces renseignements étaient utilisés pour assigner chaque arbre à une classe de dhp de 1 cm (d'après les valeurs de d_{80}) et à l'une des classes d'accroissement suivantes:

1) recrutement: de 1, 2 ou 3 classes, c'est-à-dire dans la classe de 8, 9 ou 10 cm;

2) mortalité: les arbres morts entre 1980 et 1985; et

3) accroissement des survivants: de 0, 1, ..., 6 classes.

Ces données pour des arbres individuels étaient résumées par espèce, par strate et par type forestier pour l'obtention de tableaux de fréquences à partir desquels étaient calculés:

a) des vecteurs de distribution de diamètres pour les années 1980 et 1985 ($[D^{80}]$ et $[D^{85}]$), donnant le nombre d'arbres par hectare; et,

b) des matrices d'accroissement avec valeurs p_{ij} calculées comme suit:

- pour le recrutement, chaque valeur p_{ij} était calculée comme étant le nombre d'arbres dont l'accroissemert les plaçait dans les classes de 8, 9 et 10 cm en 1985, exprimé sous forme de proportion du nombre total d'arbres de la classe subcommercialisable (0 à 8 cm) en 1980;

- pour la mortalité, le nombre des arbres morts en 1985 était divisé par le nombre total d'arbres dans la classe de diamètres en 1980; et

- pour l'accroissement des survivants, le nombre d'arbres ayant franchi 0, 1, ..., 6 classes entre 1980 et 1985 était divisé par le nombre total d'arbres dans la classe de diamètres en 1980.

Le tableau 1 est un exemple des tableaux de fréquences ainsi obtenu. Ce tableau ne présente que les données pour une seule espèce à l'intérieur d'une seule strate et inclut les classes de diamètres jusqu'à la classe de 16 cm seulement ainsi que les classes d'accroissement jusqu'à la classe 3. Tel qu'indiqué, des 139 arbres de la classe de diamètres de 0 à 7 cm, deux ont franchi une classe d'accroissement (pour accéder à la classe 8), un a franchi deux classes (pour accéder à la classe 9) et 10 ont franchi trois classes (pour accéder à la classe 10 de diamètres). L'arbre ayant accédé à la classe 8 de diamètres est mort tandis que celui ayant accédé à la classe 9 est passé à la classe suivante. L'accroissement des arbres des autres classes de diamètres est représenté de la même manière. La relation entre les fréquences pour 1980, 1985, et les classes d'accroissement est maintenant apparente; par exemple, la fréquence de 11 en 1985 pour la classe de diamètres de 10 cm résulte du passage d'un des arbres de la classe 9 à la classe suivante et du passage de 10 des arbres recrutés à la classe de diamètres de 10 cm.

Semblablement la fréquence de 7 pour la classe de diamètres de 15 cm est expliquée comme suit: deux des arbres de cette classe n'ont pas changé de classe, un arbre de la classe de 14 cm est passé à la classe suivante, et les quatre arbres de la classe de 13 cm ont franchi deux classes. La fréquence en 1985 pour la classe de 0 à 7 cm, quoique non donnée, est supposée égale à la fréquence en 1980 moins l'accroissement vers des classes supérieures.

Les données des tableaux de fréquence étaient ensuite utilisées pour obtenir le vecteur de distribution de diamètres et un ensemble de matrices d'accroissement. L'on présente au tableau 2 un exemple utilisant les données du tableau 1. Les fréquences en 1980 et en 1985, en arbres/ha, sont fonction du nombre total d'arbres (donné au tableau 1), de la superficie de la placette (400 m²) et du nombre de placettes (16 dans cet exemple). Ce sont les vecteurs de distribution des diamètres $[D^n]$ et $[D^{n+5}]$ exigés dans l'équation (1). L'ensemble des valeurs d'accroissement (tableau 2), ne renferme toutefois pas le vecteur P. Ces valeurs donnent plutôt, lorsque multipliées par $[D^n]$, la fréquence des arbres qui meurent, qui franchissent 0 classe, une classe, etc. de 1980 à 1985. Pour obtenir [P], les proportions données par les classes d'accroissement doivent être réorganisées pour indiquer les classes de diamètres résultantes en 1985:

$$[P] = \begin{bmatrix}
- & 0,01 & 0,01 & 0,07 & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
- & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & 1,00 \\
- & - & - & 1,00 & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\
- & - & - & - & 0,33 & - & - & - & - & - & - & - & 0,67 \\
- & - & - & - & - & 0,75 & 0,25 & - & - & - & - & - & - \\
- & - & - & - & - & 0,67 & - & - & - & - & - & - & 0,33 \\
- & - & - & - & - & - & 0,17 & 0,33 & 0,08 & - & - & - & 0,42 \\
- & - & - & - & - & - & - & 0,11 & 0,44 & 0,11 & - & - & 0,33 \\
- & - & - & - & - & - & - & - & 0,22 & 0,44 & 0,11 & - & 0,22 \\
- & - & - & - & - & - & - & - & - & 0,13 & 0,48 & 0,13 & 0,26
\end{bmatrix}$$

Les rangées de [P] répresentent les classes de diamètres en 1980, en commençant avec la classe de 0 à 7 cm. Les colonnes de [P] représentent les classes de diamètres en 1985 (0 à 7 cm, 8 cm, etc.) et la mortalité (dernière colonne).

L'on peut facilement vérifier que lorsque le vecteur $[D^n]$ du tableau 2 est multiplié par la matrice [P] ci-dessus, l'on obtient le vecteur $[D^{n+5}]$ du tableau 2 plus les valeurs de mortalité. De la même manière, l'on peut établir des prévisions jusqu'en 1990 en multipliant le vecteur $[D^{n+5}]$ par [P], prévisions qui peuvent être établies jusqu'en 1995 en multipliant le dernier vecteur obtenu $[D^{n+10}]$ par [P] et ainsi de suite.

La prévision des distributions futures de diamètres peut être exprimée au moyen de l'algorithme

Tableau 1. Exemple de tableaux de fréquences

Classe de dhp (cm)	Fréquence en 1980	Modifications de 1980 à 1985 — Classes d'accroissement					Fréquence en 1985
		0	1	2	3	M	
	(nombre d'arbres)						
0-7	139		2	1	10		
8	1					1	2
9	1		1				1
10	3		1			2	11
11	4		3	1			1
12	3	2				1	5
13	12	2	4	1		5	3
14	9	1	4	1		3	5
15	9	2	4	1		2	7
16	23	3	11	3		6	8

Tableau 2. Exemple de distributions de diamètres et de valeurs d'accroissement

Classe de dhp (cm)	Fréquence en 1980 (arbres/ha)	Modifications de 1980 à 1985 — Classes d'accroissement					Fréquence en 1985 (arbres/ha)
		0	1	2	3	M	
		(Proportions)					
0-7	217,2		0,01	0,01	0,07		
8	1,5					1,00	3,1
9	1,5		1,00				1,5
10	4,7		0,33			0,67	17,2
11	6,2		0,75	0,25			1,5
12	4,7	0,67				0,33	7,8
13	18,8	0,17	0,33	0,08		0,42	4,7
14	14,1	0,11	0,44	0,11		0,33	7,8
15	14,1	0,22	0,44	0,11		0,22	10,9
16	35,9	0,13	0,48	0,13		0,26	12,5
	$[D^n]$						$[D^{n+5}]$

$$N(k,j) = \sum_{i=j-max}^{j} N(k-1,i) * P(i,j-i+1)$$

où N(k,j) = le nombre d'arbres dans la classe de diamètres j à l'année n + 5k (k = 1, 2, 3, 4);

i = classe de diamètre à l'année n + 5(k-1);

max = limite supérieure d'accroissement de diamètre sur cinq ans (= 6 cm); et

P(i,j-i+1) = probabilité qu'un arbre de la classe de diamètres i à l'année n + 5(k-1) accède à la classe j à l'année n + 5k ($j \geq i$).

Dans cette expression, P(i, 1) est définie comme étant la probabilité d'accroissement nul, P(i, 2) la probabilité d'accroissement de 1 cm, et ainsi de suite...

L'algorithme (2) était à la base d'un programme d'ordinateur utilisé pour calculer des distributions de diamètres de tiges pour des espèces et des strates individuelles en 1985, 1990 et 1995. Ces distributions des diamètres ont été appliquées aux équations locales du volume et l'on a calculé les volumes (en m^3/ha). Les valeurs pour la mortalité ont été obtenues directement en multipliant les fréquences par les probabilités de mortalité.

Les méthodes qui précèdent s'appliquent aux données des PEP. Il fut décidé de compléter ces données au moyen de données recueillies dans les placettes d'échantillonnage temporaires. Cela fut effectué en combinant les deux ensembles de données avant la compilation des vecteurs de distribution des diamètres en 1980. Cela a entraîné des fréquences accrues, des valeurs à l'hectare mieux définies et, dans un grand nombre de classes de diamètres, la présence d'arbres où il n'y en avait pas eu antérieurement. Pour ces dernières classes, des valeurs de probabilité ont été ajoutées d'après la classe immédiatement précédente.

RÉSULTATS

Cette section décrit les résultats des deux phases de mesure. L'on présente dans un premier temps les résultats de l'inventaire de 1980; les superficies et les volumes de bois de la forêt sont résumés pour les diverses classes de forêts et de terrains. L'on présente deuxièmement les résultats des mesures effectuées dans les PEP en 1980 et en 1985; la méthode de la matrice d'accroissement est utilisée pour obtenir des estimations du volume d'accroissement pour les 10 prochaines années et pour les diverses classes de forêt. L'on doit souligner que même si les données de l'inventaire de 1980 sont complètes, la mise à jour pour 1985 et les prévisions au-delà de 1985 se rapportent à l'accroissement de volume pour la forêt n'ayant subi aucune détérioration seulement; l'on ne tente aucunement de fournir des données d'inventaire complètes.

Structure de la forêt en 1980

Des 21 911 ha inventoriés en 1980, 18 337 ha ou 84 % étaient classés comme forêt naturelle (tableau 3). La forêt de type mélangée est nettement dominante, couvrant 59 % des terrains boisés. Les peuplements composés principalement de feuillus occupent 29 % des terrains forestiers et les peuplements de résineux 12 %.

La forêt naturelle est séparée en strates et en types forestiers et des résumés des superficies et des volumes sont préparés (tableau 4). Dans le type des bois de résineux, la strate <<pin>> (principalement pin blanc et pin rouge) prédomine tant en superficie qu'en volume. Il n'existe que très peu de peuplements purs d'épinettes et ils présentent le volume moyen le plus faible, soit 102 m^3/ha. Le pin et le peuplier poussent abondamment dans la région, principalement en peuplements mélangés; le pin est une composante des strates occupant 60 % de la superficie tandis que le peuplier est une composante des strates occupant 49 % de la superficie. De plus la strate dans laquelle le pin et le peuplier dominent (pin-peuplier-bouleau) présente le volume moyen le plus élevé, soit 252 m^3/ha.

Tel qu'indiqué les volumes moyens par strate varient de 85 à 252 m^3/ha et la moyenne globale est de 194 m^3/ha. La forêt de type mélangée présente la moyenne la plus élevée (207 m^3/ha); viennent ensuite les résineux (184 m^3/ha) et les feuillus (153 m^3/ha). Le volume pour ces derniers est influencé de manière importante par des peuplements purs de chênes rouges de faible volume poussant dans des sols relativement mauvais et qui occupent une assez grande étendue.

En termes de volume total les bois de type mélangé dominent; le volume pour ce type forestier s'établit à plus de 2,2 millions de m^3, soit 65 % du volume total de 3,4 millions de m^3. Les types forestiers bois de résineux et bois de feuillus représentent respectivement 12 et 23 % du volume total. Si l'on isole les peuplements purs, c'est-à-dire ceux dans lesquels l'on ne trouve qu'une seule espèce, le volume total s'établit à environ 1,1 million de m^3, soit un tiers du volume total; le reste du volume provient de peuplements constitués de plusieurs espèces.

L'erreur type exprime la précision des estimations du volume (l'on suppose que les superficies sont connues avec précision). Ainsi une erreur globale de 3 % signifie que, à moins d'une chance sur 3, le volume véritable se situe à moins de 3 % de l'estimation fournie. Pour la population, le volume véritable sera donc de l'ordre de 3,35 à 3,56 millions de m^3. Le degré de confiance de 1 sur 3 peut être porté à 1 sur 20 en doublant la valeur de l'erreur type.

En raison du caractère aléatoire de la sélection des placettes d'échantillonnage (avant stratification), la taille de l'échantillon (dernière colonne du tableau 4) était à peu près proportionnelle à la superficie occupée par la strate. Si la variabilité naturelle à l'intérieur des strates avait été la même pour toutes les strates, les erreurs types auraient également été analogues, ce qui n'était pas le cas. Par exemple l'erreur type pour la strate 7 était assez élevée (47 %), ce qui indique une variabilité élevée à l'intérieur de cette strate. Le fait d'attribuer un plus grand nombre de placettes d'échantillonnage à cette strate aurait réduit l'erreur

Tableau 3. Résumé des superficies, 1980

Type forestier et de terrain	Superficie (ha)
Inventorié:	
- Résineux	2237
- Bois mélangés	10 830
- Feuillus	5270
Total, forêt naturelle	18 337
- Plantations	505
Forêt total	18 842
- Terrain non forestier	1582
Terrain total	20 424
- Eau	1487
Total inventorié	21 911
Non inventorié:	13 192
Total fédéral	35 103

Tableau 4. Résumé par types forestiers et strates, 1980

Type forestier et strate	Superficie (ha)	Volume* (m^3/ha)	Volume* (1000 m^3)	Erreur type (% du volume)	Placettes d'échantillonnage (nombre)
1. Pin	1653	214	353	8	27
2. Épinette	584	102	59	21	8
Résineux	2237	184	412	8	35
3. Peuplier, bouleau, épinette	665	120	80	13	19
4. Peuplier, bouleau, pin	3256	198	643	5	58
5. Pin, peuplier, épinette	3226	252	814	6	48
6. Pin, chêne	2781	211	586	6	51
7. Cèdre, frêne, épinette	418	85	36	47	4
8. Autres bois mélangés	484	162	78	15	15
Bois mélangés	10 830	207	2237	3	195
9. Érable, bouleau	351	192	68	18	8
10. Chêne	2361	140	330	5	51
11. Peuplier	1796	158	284	11	29
12. Bouleau	692	170	117	11	8
13. Autres feuillus	70	118	8	14	3
Feuillus	5270	153	807	5	99
TOTAL	18 337	188	3456	3	329

*Commercialisable brut

d'échantillonnage, mais au détriment de la souplesse de stratification; le caractère aléatoire de la sélection aurait été supprimé.

Un résumé par espèces principales (tableau 5) indique également le caractère dominant du pin blanc et du peuplier. Des 34 espèces présentes dans la forêt le pin blanc est l'espèce dominante. Il présente le volume le plus élevée (65 m^3/ha ou 34 % du volume total), la surface terrière unitaire la plus élevée (5 m^2/ha ou 20 % de la surface terrière totale), la fréquence des tiges la plus élevée (123 tiges/ha ou 20 % de toutes les tiges) et vient au deuxième rang pour ce qui est du dhp moyen (23 cm comparativement à 24 cm pour le pin rouge). Les peupliers se classent au deuxième rang et sont suivis du chêne rouge et du pin rouge. Ensemble le pin et les peupliers représentent 80 % du volume, 54 % de la surface terrière et 58 % des tiges.

Les analyses des distributions de diamètres indiquent que la distribution en forme de J inversé est prédominante. C'est une distribution courante pour les forêts mélangées équilibrées aux âges inégaux (Meyer, 1952; Moser, 1976; Murphy et Farrar, 1982; Zeide, 1984).

Les superficies et volumes par classes de développement (fig. 3) indiquent que la forêt à maturité domine: 13 128 ha ou 72 % de la superficie totale. Lorsque cette valeur est multipliée par le volume moyen l'on obtient un total de 2,6 millions de m^3, soit 75 % du totale global. Deux classes additionnelles n'ont pas été portées sur la figure: la régénération n'englobe qu'une très petite superficie, ne représentant aucun volume commercialisable, et aucune superficie n'est classée à surmaturité.

La qualité stationnelle est dérivée des tables de production de Plonski (Plonski, 1981). Les classes d'indices de station sont basées sur des intervalles de 5 cm (âge de base 50 ans). La classe 1 représente l'intervalle de 26 m et plus, la classe 2 l'intervalle de 21 à 25 m et ainsi de suite. La figure 4 indique que la classe 3 domine; l'on retrouve dans cette classe 68 % de la superficie (12 558 ha) et 71 % du volume (2,5 millions de m^3). La meilleure station (classe 1) n'est pas portée sur la figure parce que la superficie qu'elle occupe est très petite et qu'elle présente un volume négligeable. Tel que prévu le volume moyen diminue pour des valeurs décroissantes de l'indice de station.

Le dernier résumé de données pour 1980 est un tableau d'inventaire et de stock par espèces principales et pour trois classes de dimensions (tableau 6). Les valeurs s'expliquent d'elles-mêmes et ne présentent aucune surprise. Toutefois les dimensions moyennes des arbres calculées à partir de ces valeurs varient de 0,07 m^3 pour les petits érables à 2,60 m^3 pour les gros pins blancs. Cette différence persiste aux niveaux supérieurs du résumé; le conifère moyen présente un volume de 102/256 = 0,40 m^3 tandis que le feuillu moyen n'atteint qu'un volume de 86/344 = 0,25 m^3. Si toutes les espèces sont combinées l'on obtient pour la classe des petits diamètres 50/426 = 0,12 m^3 et pour la classe des grands diamètres 19/7 = 2,71 m^3.

Tableau 5. Résumé par espèces principales, 1980

Espèces	Volume* (m³/ha)	(%)	Surface terrière unitaire (m²/ha)	(%)	Fréquence (nombre/ ha)	(%)	Dhp (cm) Moyen	Étendue
Pin blanc	65	34	5	21	123	21	23	8-79
Peupliers	42	22	3	13	86	14	22	8-64
Pin rouge	22	12	2	8	44	7	24	8-61
Chêne rouge	22	12	3	13	93	16	21	8-61
Bouleau à papier	12	6	2	8	56	9	20	8-48
Érable	9	5	1	4	86	14	14	8-57
Épinette	9	5	1	4	45	7	18	8-56
Autres	7	4	7	29	67	12	21	8-65
TOTAL	188	100	24	100	600	100	19	8-79

*Commercialisable brut

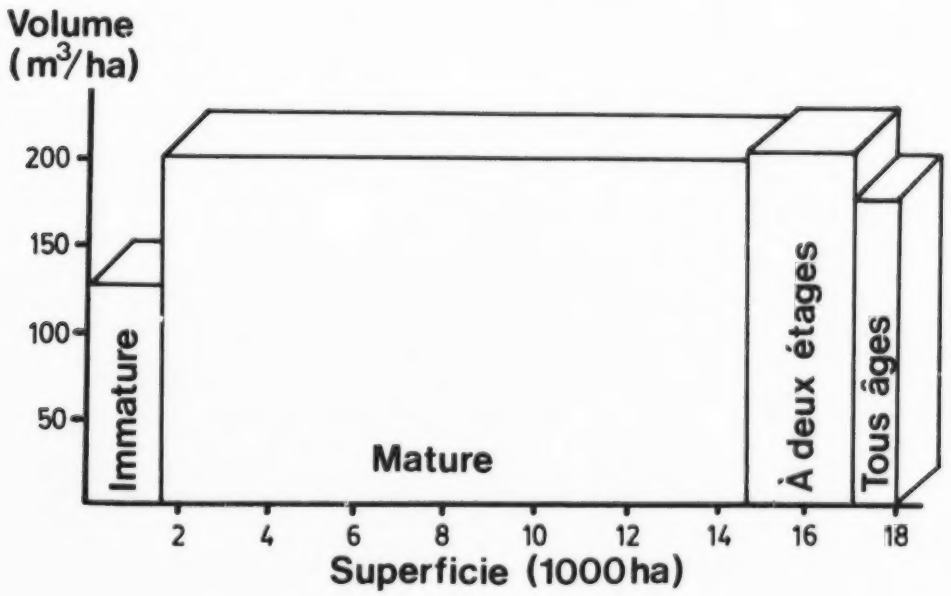


Figure 3. Superficies et volumes par classes de développement.

Tableau 6. Tableau d'inventaire et de stock, 1980

Espèces	Classe de dhp (cm)							
	10-24		25-49		50+		TOTAL	
	Volume* (m^3/ha)	Fréquence (arbres/ha)	Volume* (m^3/ha)	Fréquence (arbres/ha)	Volume* (m^3/ha)	Fréquence (arbres/ha)	Volume* (m^3/ha)	Fréquence (arbres/ha)
Pin blanc	9	71	43	47	13	5	65	123
Pin rouge	3	23	17	20	2	1	22	44
Épinette	4	36	4	9	1	-	9	45
Autres conifères	3	37	3	7	-	-	6	44
Total, conifères	19	167	67	83	16	6	102	256
Peuplier	7	44	32	41	3	1	42	86
Chêne	10	69	11	24	-	-	22	93
Bouleau à papier	7	44	6	11	-	-	12	55
Érable	6	81	3	6	-	-	9	87
Autres feuillus	1	21	-	2	-	-	1	23
Total, feuillus	31	259	52	84	3	1	86	344
TOTAL	50	426	119	167	19	7	188	600

*Commercialisable brut

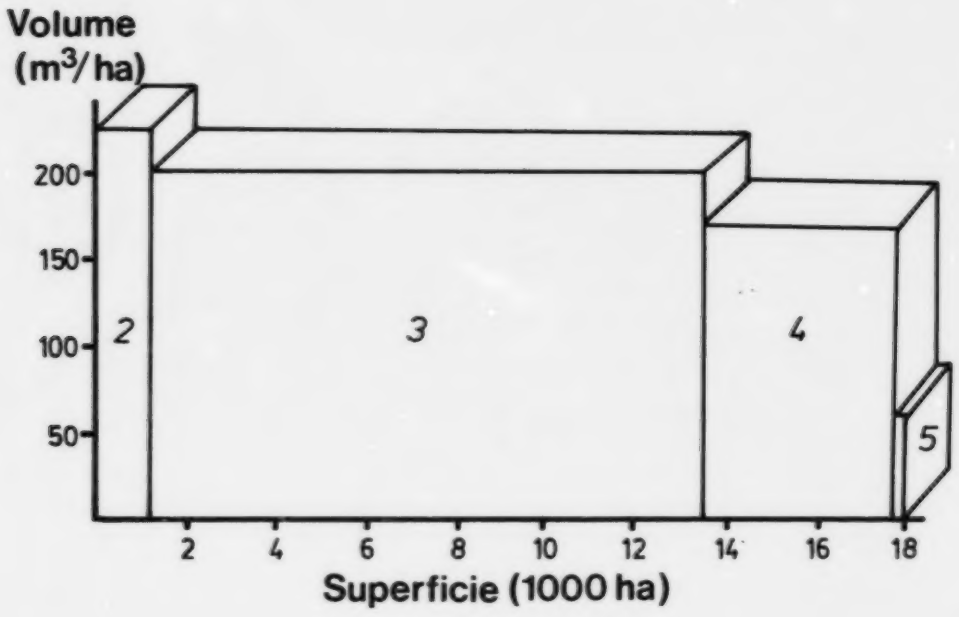


Figure 4. Superficies et volumes des classes d'indices de stations.

Croissance et production

Comme mentionné précédemment les prévisions de l'accroissement et de la production sont obtenues pour la forêt naturelle non détériorée au moyen du modèle de matrice d'accroissement.

Le tableau 7 résume, pour des strates individuelles, les volumes en 1985, les volumes prévus en 1990 et 1995 ainsi que les accroissements moyens périodiques entre ces dates. Il a été obtenu à partir des tableaux de stocks par espèces et strates individuelles dont un exemple est présenté à l'annexe 7. Les valeurs pour le volume et l'accroissement (tableau 7) varient considérablement; l'on trouve les accroissements les plus élevés dans les strates où domine le pin (strates 1 et 5), tandis que la strate <<autres feuillus>> présente une croissance faible, même négative, indiquant une vitalité réduite et de la mortalité ou les deux. Toutefois, les répercussions de cette croissance négative étaient négligeables puisque la strate ne représente que moins de 1 % du volume total. Globalement le volume moyen est passé de 188 à 253 m^3/ha, une augmentation de 65 m^3/ha ou de 35 % pour la période de 15 ans. Pour chacune des trois périodes de cinq ans l'accroissement annuel moyen du volume reste presque constant à 4,3 m^3/ha·année. En termes de pourcentages l'accroissement diminue de 2,2 % pendant la première période à 1,8 % pendant la dernière période.

Les modifications du volume par type forestier sont illustrées à la figure 5, obtenue à partir des données de l'annexe 8. En 1985 les résineux, les bois mélangés et les feuillus représentaient respectivement 12, 64 et 24 %

Tableau 7. Volumes par strates

Strate	Volume (m^3/ha) 1980	1985	1990	1995	Accroissement annuel du volume (m^3/ha·an) 1980-85	1985-90	1990-95	Accroissement annuel du volume (%) 1980-85	1985-90	1990-95
Pin	214	241	262	284	5,4	4,2	4,3	2,3	1,7	1,6
Épinette	102	126	151	180	4,8	5,1	5,7	4,1	3,6	3,5
Peuplier-bouleau-épinette	120	134	146	159	2,7	2,5	2,6	2,2	1,7	1,7
Peuplier-bouleau-pin	198	216	234	254	3,7	3,7	3,9	1,7	1,6	1,6
Pin-peuplier-bouleau	252	282	310	340	5,9	5,7	6,0	2,2	1,9	1,8
Pin-chêne	211	233	255	278	4,4	4,4	4,7	5,9	1,8	1,7
Cèdre-frêne-épinette	85	90	95	100	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0
Autres bois mélangés	162	183	205	228	4,3	4,4	4,5	2,4	2,2	2,1
Érable-bouleau	192	213	236	256	4,0	4,6	3,9	2,1	2,1	1,6
Chêne	140	154	168	186	2,8	2,9	3,5	1,9	1,8	2,0
Peuplier	158	184	211	232	5,3	5,3	4,3	3,0	2,7	1,9
Bouleau	170	186	204	223	3,2	3,5	3,9	1,8	1,8	1,8
Autres feuillus	118	119	111	114	0,1	-1,6	0,6	0,2	-1,4	0,5
TOTAL	188	210	231	253	4,3	4,2	4,3	2,2	1,9	1,8

du volume. Pendant l'intervalle suivante de 10 ans, les résineux ont crû légèrement plus rapidement que les bois mélangés qui ont eux-mêmes crû plus rapidement que les feuillus (les accroissements sont respectivement de 46, 44 et 37 m^3/ha). En pourcentage toutefois les accroissements sont analogues, soit d'environ 21 %. Comme indiqué l'on a supposé que les superficies pour les types forestiers sont restées les mêmes pendant la période de 10 ans.

Les volumes et les fréquences des tiges sont donnés par principaux groupes d'espèces et principales classes de dimensions aux tableaux 8 et 9. En termes de volume (tableau 8) l'on s'attend à ce que le pin blanc passe de 74 à 94 m^3/ha en 1995, ce qui correspond à un taux annuel de 2,0 m^3/ha·année, pour ainsi accroître sa situation dominante dans la forêt. Tel que prévu l'accroissement survient dans les deux classes supérieures de diamètres. Cette dominance du pin blanc ne s'étend pas à la fréquence des tiges (tableau 9). Chez la plupart des espèces, incluant le pin blanc, il y a diminution de la fréquence, surtout dans la classe des petits diamètres. On en conclut qu'il y aura moins d'arbres plus gros dans la forêt en 1995; la taille moyenne des arbres passera de 0,34 à 0,42 m^3, soit une augmentation de 24 %. Les quatre espèces dominantes (pin blanc, pin rouge, peuplier et chêne) connaîtront toutes un accroissement supérieur à 20 %. Quelques groupes d'espèces (<<autres conifères>>, principalement sapin baumier et <<épinette>>) présentent des accroissements de fréquence. Cela est vraisemblablement attribuable à leur récupération suite aux ravages de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Figure 5. Prévisions de volume et superficies par types forestiers.

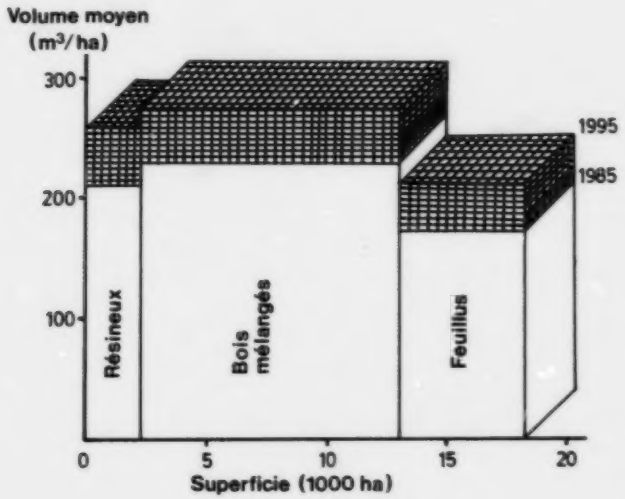


Tableau 8. Tableau de stock, 1985-1995

Espèces	Classes de dhp (cm)											
	10-24			25-49			50+			TOTAL		
	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement
	Volume (m^3/ha)											
Pin blanc	10	10	0	47	56	9	17	28	11	74	94	20
Pin rouge	3	3	0	18	21	3	3	3	0	24	27	3
Épinette	4	4	0	5	7	2	1	1	0	10	12	2
Autres conifères	4	5	1	4	4	0	0	1	1	8	10	2
Total, conifères	21	22	1	74	88	14	21	33	12	116	143	27
Peupliers	7	7	0	37	42	5	3	6	3	47	55	8
Chêne	9	7	-2	13	17	4	-	1	1	22	25	3
Bouleau à papier	6	6	0	7	9	2	-	-	-	13	15	2
Érable	7	9	2	3	4	1	1	0	-1	11	13	2
Autres feuillus	1	0	-1	0	1	1	0	1	1	1	2	1
Total, feuillus	30	29	-1	60	73	13	4	8	4	94	110	16
TOTAL	51	51	0	134	161	27	25	41	16	210	253	43

Tableau 9. Tableau d'inventaire, 1985-1995

Espèces	Classes de dhp (cm) 10-24			25-49			50+			TOTAL		
	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement	1985	1995	Changement
	Fréquence (nombre/ha)											
Pin blanc	74	60	-14	50	59	9	6	10	4	130	129	-1
Pin rouge	21	16	-5	21	23	2	1	1	0	43	40	-3
Épinette	37	36	-1	10	12	2	0	1	1	47	49	2
Autres conifères	42	48	6	8	11	3	1	0	-1	51	58	7
Total, conifères	174	160	-14	89	105	16	8	12	4	271	276	5
Peupliers	46	37	-9	45	47	2	1	2	1	92	86	-6
Chêne	58	39	-19	28	35	7	0	0	0	86	74	-12
Bouleau à papier	39	32	-7	14	18	4	0	0	0	53	50	-3
Érable	90	88	-2	6	8	2	1	1	0	97	97	-0
Autres feuillus	23	22	-1	2	4	2	0	0	0	25	26	1
Total, feuillus	256	218	-38	95	112	17	2	3	1	353	333	-20
TOTAL	430	378	-52	184	217	33	10	15	5	624	609	-15

Les renseignements fournis ci-haut indiquent que la forêt peut ne pas être en état d'équilibre mais en maturation, arrivant même peut être à la surmaturité, avec la réimplantation de la composante épinette-sapin baumier. Cela est confirmé par un calcul distinct des éléments individuels de la croissance (tableau 10). Ce calcul indique que le nombre des arbres qui meurent dépasse le nombre des arbres recrutés. De plus, en volume la mortalité constituait un facteur très important, représentant 27 % de la croissance brute ou près de 1 % du volume commercialisable brut. Une évaluation de la mortalité par espèces a indiqué que le chêne rouge présentait le taux de mortalité le plus élevé. Par exemple, quoique ne représentant que 12 % du volume total, il fallait lui attribuer 26 % de la mortalité totale. Le pin blanc par contre présente un faible taux de mortalité et les valeurs comparables s'établissent à 35 et 22 %.

Tableau 10. Éléments de la croissance des peuplements, 1980-1985

Élément de croissance	Volume (m^3/ha·an)	Fréquence (tiges/ha·an)
Accroissement brut	5,9	12,8
Mortalité	-1,6	-8,0
Accroissement net	4,3	4,8
Accroissement des survivants	4,3	-
Recrutement	0,02	4,8

DISCUSSION

Méthodologie

La méthode de base pour l'inventaire décrit dans la présente étude est couramment utilisée depuis plusieurs années et est bien documentée. Elle fournit de manière efficace et à un coût raisonnable des données statiques d'inventaire. On a apporté deux modifications à la méthode de base, toutes deux reliées aux unités d'échantillonnage sur le terrain. La création de sous-placettes, et la mesure de la régénération et des arbres subcommercialisables ne posent pas de problèmes importants, mais accroissent la durée de l'échantillonnage dans chaque unité. Semblablement la décision d'inclure dans l'inventaire et des unités temporaires et des unités permanentes d'échantillonnage ne pose aucun problème important. De plus, quoiqu'aucun relevé du temps n'ait été tenu, le temps nécessaire pour implanter et mesurer une placette permanente ne semble pas différer sensiblement de celui nécessaire pour une placette temporaire: il faut en moyenne une journée-personne par placette.

Les résultats présentés ici et ceux présentés dans un rapport (inédit) par Bonnor et Magnussen sont compilés à partir des mêmes données d'inventaire de base. Les légères différences dans les valeurs sont attribuables à l'utilisation d'un échantillonnage aléatoire stratifié dans l'autre rapport et d'un échantillonnage aléatoire simple (EAS) dans celui-ci. Nous avons utilisé l'échantillonnage aléatoire simple pour simplifier les traitements de projection des diamètres des tiges.

Le relevé de 1985, pour lequel les placettes d'échantillonnage permanentes ont été mesurées de nouveau, fournit une occasion de vérifier la précision des mesures. Alors que les mesures du dhp sont d'une précision acceptable, ce n'est pas le cas des hauteurs des arbres; nous avons relevé de nombreux cas d'accroissement négatif ou excessif de la hauteur. Afin d'éliminer tout effet de ces erreurs, les données de 1980 ont été utilisées pour obtenir des relations hauteur-diamètre qui ont été en retour utilisées pour produire les équations locales du volume. Toutefois l'utilisation de telles équations locales dans les prévisions d'accroissement suppose que la relation hauteur-diamètre est constante en fonction du temps. Cette hypothèse peut ne pas être vraie, mais l'on s'attend à ce que les effets sur les présents résultats soient insignifiants.

Le coeur du modèle d'accroissement est la matrice de probabilités. Les valeurs de cette matrice sont reliées à l'accroissement des survivants, à la mortalité et au recrutement. Les valeurs de probabilité d'autres événements, p. ex. exploitation forestière, sont délibérément exclues et l'on ne prend en considération que les éléments pertinents pour la forêt naturelle non détériorée.

La matrice de probabilités est dérivée des mesures de l'accroissement passé, mais utilisée pour prédire l'accroissement futur. Ainsi l'on suppose que les valeurs de probabilité de la matrice restent assez constantes. La mesure dans laquelle cette hypothèse est juste détermine la précision des prévisions. De toute évidence plus la période sur laquelle portent les prévisions est longue plus la probabilité d'erreur est grande.

Même si le fait de ne disposer de données que pour un seul intervalle de mesure empêche toute évaluation de la précision, l'on doit mentionner certaines sources d'erreurs possibles. L'une d'entre elles était l'absence de toute contrainte de l'accroissement si l'on excepte celles inhérentes aux probabilités calculées d'accroissement et de mortalité. Cela entraînait un taux d'accroissement presque constant qui peut s'avérer inexact - pour les prévisions à long terme - en raison d'une compétition accrue. Alors que certains modèles ont été modifiés pour tenir compte d'une telle compétition (Adams et Ek, 1974; Ek, 1974; Holdaway, 1984; Hyink et Moser, 1983; Moser, 1972), la densité relative généralement faible et les modestes taux d'accroissement de cette forêt rendent peu vraisemblable à court terme l'existence de contraintes d'accroissement attribuables à la compétition (Stiell, 1984). Parmi les autres sources d'erreurs possibles - ou possibilités d'amélioration de la précision du modèle - mentionnons les variations des taux d'accroissement en fonction de la qualité stationnelle, de la classe de tolérance (Cassell et Moser, 1974) et de la classe de cime (Roberts et Huska, 1985). De plus le recrutement peut varier en fonction de la surface terrière et de la fréquence des arbres (Buongiorno et Michie, 1980).

Une distorsion peut avoir été introduite par l'utilisation de classes de 1 cm comme unité pour les diamètres et les accroissements du diamètre. Avec un accroissement moyen du diamètre sur 5 ans de 1 cm seulement, toute déviation par rapport à une distribution rectangulaire à l'intérieur d'une classe de diamètres aurait entraîné une surestimation ou une sous-estimation de l'accroissement. Le problème n'aurait pas été solutionné par l'utilisation d'unités plus petites pour les accroissements du diamètre,

ce qui n'aurait donné qu'un moins grand nombre d'observations dans chacune des classes de diamètres et ainsi une estimation moins précise des probabilités d'accroissement. De plus, avec des unités plus petites pour l'accroissement l'on doit prendre en considération les erreurs associées de mesure du dhp. Pour la présente étude cette source de biais peut être ignorée pour toutes les espèces et tous les types majeurs de couvert, mais peut être importante chez les espèces mineures. Ce problème a été étudié par Harrison et Michie (1985) qui discutent également le problème des prévisions d'accroissement pour des intervalles différents de celui entre les mesures.

Résultats

Au Canada la plupart des terres forestières sont aménagées pour la production de bois, c'est-à-dire pour la production de billes de sciage et de bois de pâte. Cela n'est pas le cas de la forêt de Petawawa où il n'existe aucun objectif d'aménagement du genre par rapport auquel pondérer le caractère adéquat ou non des ressources. Par conséquent la présente analyse sera centrée sur la structure et les modifications de la forêt, sur la comparaison des données de l'inventaire à des données émanant d'autres sources, et sur les implications pour l'aménagement forestier.

Les résultats de l'inventaire recèlent deux surprises: l'une liée à la qualité stationnelle et aux taux d'accroissement associés, et l'autre à la composition des peuplements.

La qualité stationnelle est relativement élevée pour la forêt de Petawawa. Telle que définie par les classes d'indice de stations (IS), l'on ne trouve aucune terre forestière improductive (IS = 0 à 5 m). À l'autre extrémité de l'échelle, environ 1200 ha présentent un IS supérieur à 20 m, ce qui est élevé par rapport à la normale au Canada. Ces valeurs sont confirmées par le volume moyen (210 m^3/ha en 1985) et le taux d'accroissement (plus de 4 m^3/ha·année) élevés.

Une comparaison générale de ces résultats aux valeurs pour l'accroissement et la production dans les régions avoisinantes indique des niveaux considérablement plus élevés de matériel sur pied et d'accroissement dans la forêt fédérale. Par exemple les résumés d'inventaire pour le comté de Renfrew donnent, pour le volume et l'accroissement, des valeurs de 40 à 100 % inférieures (Anon., 1984) à celles mesurées dans les types comparables de couverts forestiers de la forêt de Petawawa. Les différences observées croissent à mesure qu'augmente la teneur en conifères, et en particulier en pins. Une exploitation plus intense des conifères dans les forêts du district de Pembroke explique en partie l'écart substantiel. L'utilisation dans le district de Pembroke des tables de production de Plonski (Plonski, 1981) est un autre facteur qui explique cet écart. Pour une classe de fertilité et un matériel sur pied relatif comparables, ces tables prédisent des valeurs du volume de 20 à 100 % inférieures à celles observées ici. Troisièmement des erreurs au niveau des estimations du volume pourraient s'avérer un facteur important.

Le relevé du bois débité brut en 1929 dans la région d'Algonquin permet une comparaison intéressante (Anon., 1937). Les valeurs de l'accroissement qu'il présente pour les conifères et les arbres à feuillage caduc sont comparables à celles présentées ici, mais il y a également beaucoup

moins de matériel sur pied à l'hectare en raison de l'exploitation antérieure. Semblablement les volumes moyens actuels sont considérablement plus élevés que ceux obtenus lors d'un inventaire précédent (Van Slyke, 1960).

Les différences mentionnées ci-haut peuvent dans une certaine mesure être expliquées par l'émergence du pin blanc comme espèce la plus importante. Cette situation est attribuable à un manque d'abattage, au taux d'accroissement supérieur du pin blanc (4,4 m^3/ha·année), et au déclin du sapin baumier et de l'épinette blanche attribuable au ravage de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Par exemple le volume de sapin baumier a diminué de 8,3 à 1,2 % du volume total entre 1960 et 1980. Pendant la même période le volume du pin blanc est passé de 18 à 34 %. Les prévisions pour 1995 indiquent un accroissement supplémentaire jusqu'à 37 %.

Les données pour l'accroissement et la production du pin blanc, obtenues dans les placettes d'échantillonnage permanentes de la <<Zone de sylviculture du Centre>>* et des <<Zones naturelles de l'IFNP>>* se comparent favorablement aux données et estimations de l'accroissement du présent inventaire. Des études de Stiell (1984) et de Smithers (1954) dans les peuplements non aménagés de la forêt de Petawawa et couvrant une gamme étendue de stations ont indiqué des accroissements courants pour le pin blanc variant de 4,2 à 7,6 m^3 par hectare par année. D'autres études dans la région indiquent un accroissement courant de 4,5 m^3 par hectare dans des peuplements de pins blancs au matériel sur pied relatif normal maintenus dans une rotation de 100 ans (Horton et Bedell, 1960).

Les peupliers se classent au deuxième rang quant au volume, soit 22 %. Comparativement au pin blanc ces espèces ne sont pas aussi répandues et les arbres individuels sont quelque peu plus petits. Le pin rouge et le chêne rouge représentent chacun 11 % du volume total, mais aux endroits où les pins rouges sont gros et rares, les chênes sont petits et couvrent de grandes étendues.

Si la forêt était aménagée pour la production de bois, l'on en obtiendrait des rendements relativement élevés; malgré une limite de commercialisabilité relativement élevée (10,2 cm dhp), le taux d'accroissement net est bon (4,3 m^3/ha·année). Ce rendement pourrait être accru en récupérant la plupart, sinon la totalité, des arbres qui meurent (1,6 m^3/ha·année). La prédominance du pin blanc est indiquée par son volume et taux d'accroissement élevés, sa faible mortalité, ses grandes dimensions moyennes et par le fait qu'il est très répandu. L'on aurait intérêt à centrer tout aménagement de la forêt sur cette espèce. En plus de ces considérations d'ordre sylvicole, la valeur marchande élevée du pin blanc serait importante dans tout aménagement axé sur la rentabilité économique.

---

*Données sur fichier à l'Institut forestier national de Petawawa.

CONCLUSIONS

La présente étude montre qu'un inventaire d'aménagement forestier canadien peut être modifié avec succès pour fournir des données sur l'accroissement et que l'on peut utiliser avec succès ces données d'accroissement pour prédire l'accroissement futur par classes de diamètres. Les méthodes en cause ne sont pas nouvelles, mais n'ont pas été utilisées fréquemment au Canada et ne sont pas, à notre connaissance, documentées. La présente étude fournit une telle documentation. Elle se veut une base pour des études supplémentaires visant à satisfaire les besoins de l'aménagement forestier intensif dans le cadre canadien.

Les modifications de l'inventaire de base sont simples mais suffisent pour assurer une base à l'acquisition ultérieure de données sur l'accroissement. Les nouvelles mesures des placettes d'échantillonnage permanentes offrent également une occasion de mettre à jour l'inventaire.

Le modèle de matrice de probabilités d'accroissement utilisé ici convient bien pour la forêt de type naturelle de Petawawa: espèces mélangées, en grande partie d'âges inégaux, peu ou pas aménagée. Cela est confirmé par les valeurs prévues qui semblent raisonnables. À mesure que des données résultant de nouvelles mesures deviendront disponibles, les erreurs pourront être identifiées et les projections seront améliorées. Avec des améliorations, les matrices de probabilités d'accroissement pourraient être utilisées pour faire des prévisions portant sur des forêts analogues en d'autres emplacements avec des résultats acceptables.

Le modèle utilisé ici convient également bien pour l'application prévue, c'est-à-dire des prévisions détaillées à court terme adaptées à la planification et aménagement forestiers intensifs pour de petites étendues. À plus long terme le processus devient moins précis, des incertitudes attribuables aux détériorations (exploitation forestière, incendies) entrent en ligne de compte et les particularités des prévisions deviennent non pertinentes sinon trompeuses.

La modélisation de la croissance de la forêt est - ou devrait être - une étape courante des activités dans le cadre de l'aménagement forestier. Sans modèle de croissance, il serait très difficile de prendre des décisions d'aménagement intelligentes. Lors du choix du modèle de croissance qui convient le gestionnaire forestier doit tenir compte de son aptitude à fournir des réponses fiables aux questions en matière d'aménagement forestier. Le modèle discuté peut nécessiter des modifications ou une vérification à l'aide de mesures additionnelles, mais constitue un bon point de départ tout en offrant l'occasion d'améliorer nos connaissances du développement des forêts.

RÉFÉRENCES

Adams, D.M.; Ek, A.R. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. Can. J. Forest Res. 4: 274-287.

Alemdag, I.S.; Bonnor, G.M. 1985. Biomass inventory of federal forest lands at Petawawa: a case study. For. Chron. 61: 81-86.

Anon. 1937. Summary of stand and increment (rate of growth survey data, 1929), Algonquin Park, Ontario. Can. Dept. Mines Resour., For. Serv., Res. Notes 48.

Bailey, R.I.; Dell, T.R. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. Forest Sci. 19: 97-104.

Bickerstaff, A. 1948. Management Plan - Petawawa Forest Experiment Station. Petawawa Rep. No. 60 (unpubl.).

Bonnor, G.M.; Magnussen, S. 1986. Forest Inventories in Canada: A Framework for Change. Unpubl.

Boughner, C.C. 1964. The distribution of growing degree days in Canada. Canadian Meteorological Memoirs. No. 17. Meteorological Branch, Dept. Transport. Toronto, Ontario.

Bruner, H.D.; Moser, J.W., Jr., 1973. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. Can. J. Forest Res. 3: 409-417.

Buongiorno, J.; Michie, B.R. 1980. A matrix model of unevenaged forest management. Forest Sci. 26: 609-625.

Cassel, R.F.; Moser, J.W. 1974. A programmed Markov model for predicting diameter distribution and species composition in unevenaged forests. Purdue Univ., Agr. Exp. Sta., W. Lafayette, Ind. Res. Bull. 915.

Clutter, F.L.; Fortson, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L. 1983. Timber Management: A Quantitative Approach. F. Wiley and Sons, N.Y.

Fairweather, S.E. 1985. Stand table projection on the microcomputer. North. J. Appl. For. 2: 55-56.

Hall, W.W. 1982. Forest management and operation plan for Department of National Defense lands, Canadian Forces Base Petawawa 1982-1992. Unpubl.

Harrison, T.P.; Michie, B.R. 1985. A generalized approach to the use of matrix growth models. Forest Sci. 31: 850-856.

Holdaway, M.R. 1984. Modeling the effect of competition on tree diameter growth as applied in stems. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. NC-94. p. 1-9.

Honer, T.G.; Ker, M.E.; Alemdag, I.S. 1983. Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada. Dept. Environ. Can., Can. For. Serv., Maritimes Forest Res. Cen., Inf. Rep. M-X-140.

Horton, K.W.; Horton, B.F. 1983. Management plan for the Petawawa National Forestry Institute managed forest area. Unpubl.

Horton, K.W.; Bedell, G.H.D. 1960. White and Red Pine: Ecology, Silviculture and Management. Can. Dept. Northern Aff. and Nat. Res., For. Branch Bull. 124.

Husch, B.; Miller C.I.; Beers, T.W. 1972. Forest Mensuration. 2nd ed., Ronald Press.

Hyink, D.M.; Moser, J.W. 1983. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. Forest Sci. 29: 85-95.

Meyer, H.A. 1952. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. J. For. 50: 85-92.

Michie, B.R.; Buongiorno, J. 1984. Estimation of a matrix model of forest growth from re-measured permanent plots. Forest Ecol. Mgt. 8: 127-135.

Moser, J.W., Jr. 1976. Specification of density for the inverse J-shaped diameter distribution. Forest Sci. 22: 177-180.

Moser, J.W., Jr. 1973. A system of equations for the components of forest growth. Purdue University Agr. Exp. Sta. Journal Paper 5236.

Moser, J.W., Jr. 1972. Dynamics of an uneven-aged forest stand. Forest Sci. 18: 185-191.

Munro, D.D. 1974. Forest growth models - a prognosis. Pages 7-21 in Fries, J. ed. Growth Models for Tree and Stand Simulation. Res. Notes No. 34, Dept. of Forest Yield Research. Stockholm.

Murphy, P.A.; Farrar, R.M. 1982. Calculation of theoretical uneven-aged stand structures with the exponential distribution. Forest Sci. 28: 105-109.

Peden, L.M.; Williams, J.S.; Frayer, W.E. 1973. A Markov model for stand projection. Forest Sci. 19: 303-314.

Plonski, W.L. 1974. Normal Yield Tables (Metric). Ontario Ministry of Natural Resources.

Roberts, M.R.; Hruska, H.J. 1985. Predicting diameter distributions: a test of the stationary Markov model. Can. J. Forest Res. 16: 130-135.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Environ. Can., Can. For. Serv., Ottawa, Pub. No. 1300.

Smithers, L.A. 1954. Thinning in red and white pine stands at Petawawa Forest Experiment Station. Silvicultural Research Note No. 105, Dept. Northern Aff. Nat. Res., For. Branch, For. Res. Div.

Stiell, W.M. 1984. Improvement cut accelerates white pine sawlog growth. For. Chron. 59: 3-9.

van Slyke, A.K. 1960. Stand Description of Area "B" Petawawa Military Reserve (Proj. P-248). Canada Dept. Northern Aff. Nat. Res., For. Branch, For. Res. Div. Unpubl.

Zeide, B. 1984. Exponential diameter distribution: Interpretation of coefficients. Forest Sci. 30: 907-912.

ANNEXES

Annexe 1

NOMS ET CODES D'ESPÈCES

Nom vernaculaire	Nom latin	Code
Pin	Pinus L.	00
Pin blanc	Pinus strobus L.	20
Pin rouge	Pinus resinosa Ait.	30
Pin gris	Pinus banksiana Lamb.	40
Épinette	Picea A. Dietr.	100
Épinette blanche	Picea glauca (Moench) Voss	130
Épinette noire	Picea mariana (Mill.) B.S.P.	110
Sapin baumier	Abies balsamea (L.) Mill.	210
Mélèze laricin	Larix laricina (Du Roi) K. Koch	310
Thuya occidental	Thuja occidentalis L.	410
Pruche du Canada	Tsuga canadensis (L.) Carr.	510
Peuplier	Populus L.	600
Bouleau	Betula L.	700
Bouleau à papier	Betula papyrifera Marsh.	710
Bouleau jaune	Betula alleghaniensis Britton	720
Érable	Acer L.	800
Érable à sucre	Acer saccharum Marsh.	810
Érable rouge	Acer rubrum L.	820
Frêne noir	Fraxinus nigra Marsh.	912
Tilleul d'Amérique	Tilia americana L.	920
Hêtre à grandes feuilles	Fagus grandifolia Ehrh.	930
Cerisier de Pennsylvanie	Prunus pensylvanica L.F.	944
Orme d'Amérique	Ulmus americana L.	951
Ostryer de Virginie	Ostrya virginiana (Mill.) K. Koch	970
Chêne rouge	Quercus rubra L.	983
Chêne blanc	Quercus alba L.	981

Annexe 2

Système de classification des forêts et des terres, et classes

Système de classification des forêts et des terres

Superficie totale de l'inventaire

- Juridiction
  - Occupé par le SCF
  - Occupé par le MDN
- Classe de terrain
  - Eaux
  - Terre
    - Classe de forêt
      - Non boisé
      - Plantations
      - Forêt naturelle
        - Composition en espèces
        - Strate
        - Type forestier
        - Indice de station
        - Hauteur dominante
        - Fermeture du couvert
        - Développement

Classes de forêt naturelle

1. Composition en espèces

   - Jusqu'à quatre espèces constituant chacune au moins 25 % de la fermeture du couvert du peuplement.

2. Strate

   - Combinaison de classes de composition en espèces:

N° de la strate	Nom de la strate
1	Pin
2	Épinette
3	Peuplier-bouleau-épinette
4	Peuplier-bouleau-pin
5	Pin-peuplier-bouleau
6	Pin-chêne
7	Cèdre-frêne-épinette
8	Autres bois mélangés
9	Érable-bouleau
10	Chêne
11	Peuplier
12	Bouleau
13	Autres feuillus

Annexe 2 (Suite)

3. Type forestier

- Combinaison de classes de composition en espèces:

Code	Type forestier Symbole	Nom	Conifères (% de fermeture du couvert total)	Strates
1	S	Résineux	76+	1, 2
2	M	Bois mélangés	26-75	3-8
3	H	Feuillus	0-25	9-13

4. Indice de station (âge de base 50 ans)

Code	Classe (m)
1	26+
2	21-25
3	16-20
4	11-15
5	6-10
6	0-5 (non productive)

5. Hauteur dominante

Code	Classe (m)
1	0-5
2	6-10
3	11-15
4	16-20
5	21-25
6	26-30
7	31+

6. Fermeture du couvert

Code	Classe (%)
1	0-25
2	26-50
3	51-75
4	76-100

7. Classes de développement (âge)

Code	Symbole	Classe
1	R	Régénération
2	I	Immaturité
3	M	Maturité
4	O	Surmaturité
5	T	À deux étages
6	A	De tous âges

8. Classes non forestières

Symbole	Classe
U-1	Hautes-terres - herbes
U-2	Hautes-terres - arbustes
M-1	Basses-terres - végétation émergente
M-2	Basses-terres - carex et herbes
M-3	Basses-terres - arbustes, herbes et carex
FL	Terrains inondés
UCL	Non classifié

Annexe 3

Exemple de résumé par zone pour les peuplements

Référence de localisation MTU	Juridiction	Numéro du peuplement	Classe de hauteur	Composition en espèces	Classe de fermeture du couvert	Classe de développement	Classe d'indice de station	Type forestier	Superficie (ha)	Strate
18 305 5087	2	746	3	0 0 0 912	3	3	4	3	4	13
18 306 5087	2	747	5	0 10 600 710	4	3	3	2	16	5
18 306 5087	2	748	4	0 10 600 100	1	3	4	2	17	5
18 307 5087	2	749	5	0 0 10 600	4	3	3	2	27	5
18 307 5087	2	750	4	0 0 0 10	4	3	3	1	7	1
38 308 5087	2	751	5	0 0 0 10	4	3	3	1	31	1
18 308 5087	2	752	5	0 0 10 600	4	5	3	2	35	5
18 309 5087	2	753	5	0 0 30 20	4	3	2	1	8	1
18 309 5087	2	754	5	0 0 10 600	2	5	3	2	16	5

Annexe 4

Statistiques de l'équation du volume des arbres

1. Équations ordinaires (à deux variables)

Modèles: $V_t = c_1 D^2 / (a_1 + b_1/H)$

où V_t = volume total brut (m^3)
D = diamètre de la tige à hauteur de poitrine (cm)
H = hauteur totale de l'arbre (m)

a_1, b_1, c_1 = coefficients de régression

$$V_m = V_t (a_2 + b_2 X + c_2 X^3)$$

où V_m = volume commercialisable brut (m^3)

$$X = (\frac{d}{D})^2 (1 + \frac{h}{H})$$

où d = diamètre au fin bout à l'intérieur de l'écorce = 7 cm
h = hauteur de la souche = 30 cm

a_2, b_2, c_2 = coefficients de régression

Code	Espèces	Coefficients					
		a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
20	Pin blanc	0,691	110,8558	,0043188	,9735	-,2386	-0,7620
30	Pin rouge	0,710	108,3869	,0043313	,9672	-,0398	-1,0805
40	Pin gris	0,897	106,2228	,0043313	,9635	-,1520	-0,8298
110	Épinette noire	1,588	104,6203	,0043264	,9526	-,1042	-0,8438
130	Épinette blanche	1,440	104,3026	,0043218	,9611	-,2494	-0,7007
210	Sapin baumier	2,139	91,9277	,0043310	,9352	-,0400	-0,8367
300	Mélèze européen	1,588	101,6203	,0043310	,9352	-,0400	-0,8367
310	Mélèze laricin	1,588	101,6203	,0043264	,9645	-,1638	-0,8164
410	Thuya occidental	4,167	74,6455	,0043298	,9645	-,1638	-0,8164
510	Pruche du Canada	1,112	106,7105	,0043298	,9645	-,1638	-0,8164
600	Peupliers	-,312	133,1062	,0043405	,9354	-,0968	-1,1874
610	Peuplier faux-tremble	-,312	133,1062	,0043405	,9354	-,0968	-1,1874
620	Peuplier à grandes dents	-,312	133,1062	,0043405	,9354	-,0968	-1,1874
630	Peuplier baumier	-,312	133,1062	,0043405	,9354	-,0968	-1,1874
710	Bouleau à papier	2,222	91,5619	,0043218	,9087	-,3096	-0,2690
720	Bouleau jaune	1,449	105,0750	,0043119	,8778	-,2456	-0,5382
800	Érables	1,046	117,0432	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
810	Érable à sucre	1,046	117,0432	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
820	Érable rouge	1,046	117,0432	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
840	Érable argenté	1,046	117,0432	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
910	Frênes	0,634	134,2644	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
911	Frêne blanc	0,634	134,2644	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
912	Frêne noir	0,634	134,2644	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
914	Frêne d'Austin	0,634	134,2644	,0043336	,9047	-,0717	-0,8590
925	Frêne vert	0,634	134,2644	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
920	Tilleul d'Amérique	0,948	122,3772	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
930	Hêtre à grandes feuilles	0,959	102,0470	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
944	Cerisier de Pennsylvanie	1,877	101,3765	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
951	Orme d'Amérique	0,634	134,2644	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
970	Ostryer de Virginie	1,877	101,3765	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
981	Chêne blanc	1,512	102,5652	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
983	Chêne rouge	1,512	102,5652	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
986	Chêne à gros fruits	1,512	102,5652	,0043336	,9057	-,0717	-0,8590
000	Autres	1,000	100,0000	,0043336	,9500	-,1600	-0,8500

2. Équations hauteur-diamètre (pour transformer les équations ordinaires en équations locales).

Modèle: $H = 1,3 + e^{a+b/D}$

où H = hauteur de l'arbre (m)
D = diamètre de la tige à hauteur de poitrine (cm)
a, b = coefficients de régression

Strate	Espèces	Coefficients a	Coefficients b	ETE[1]	N[2]	Hauteur max. (m)
1. Pin	Pin blanc	3,564	-16,370	0,28	241	30,0
	Pin rouge	3,445	-13,950	0,34	168	27,5
	Pin gris	3,227	-11,773	0,34	89	21,6
	Épinette blanche	3,425	-15,085	0,40	41	20,0
	Peuplier	3,271	-8,998	0,58	20	27,0
	Bouleau à papier	3,432	-16,512	0,66	18	17,0
	Érables	3,238	-10,989	0,29	39	18,5
	Chêne	2,904	-9,768	0,60	26	17,9
2. Épinette	Épinette noire	3,358	-11,978	0,34	55	20,7
	Épinette blanche	3,207	-12,335	0,62	24	23,4
	Sapin baumier	3,125	-9,713	0,55	32	20,0
	Mélèze européen	2,991	-7,182	0,35	58	17,0
	Thuya occidental	3,004	-13,707	0,74	31	14,6
3. Peuplier, bouleau, épinette	Pin blanc	3,681	-22,217	0,55	17	24,5
	Épinette blanche	3,332	-13,162	0,51	46	26,0
	Sapin baumier	3,001	-10,280	0,37	52	18,7
	Peuplier	3,259	-8,550	0,35	134	26,0
	Bouleau à papier	3,427	-14,952	0,38	67	19,2
	Érables	3,001	-8,014	0,52	66	19,0
4. Peuplier, bouleau, pin	Pin blanc	3,184	-11,295	0,29	291	29,2
	Pin rouge	3,356	-11,962	0,44	101	24,5
	Épinette noire	3,736	-20,555	0,84	9	24,8
	Épinette blanche	3,278	-14,364	0,36	83	24,2
	Sapin baumier	3,208	-12,261	0,29	101	17,7
	Peuplier	3,367	-9,675	0,24	361	26,2
	Bouleau à papier	3,325	-9,980	0,22	224	23,0
	Bouleau jaune	2,989	-6,005	0,90	6	17,0
	Érables	3,214	-8,455	1,14	299	24,0
	Hêtre à grandes feuilles	3,062	-7,215	0,57	19	18,0
	Chêne	3,001	-7,683	0,46	64	21,0

[1]Erreur type d'estimation
[2]Taille de l'échantillon

Strate	Espèces	Coefficients a	Coefficients b	ETE[1]	N[2]	Hauteur max. (m)
5. Pin, peuplier, bouleau	Pin blanc	3,549	-14,958	0,21	465	29,0
	Pin rouge	3,434	-13,617	0,40	106	26,0
	Pin gris	3,320	-14,350	0,99	8	20,0
	Épinette noire	3,176	-12,836	0,29	7	15,0
	Épinette blanche	3,380	-15,685	0,23	130	23,5
	Sapin baumier	3,326	-12,881	0,27	86	19,0
	Thuya occidental	3,405	-23,931	1,40	7	17,0
	Peuplier	3,479	-11,354	0,46	84	34,0
	Bouleau à papier	3,091	-5,649	0,31	106	21,0
	Bouleau jaune	3,153	-13,002	0,72	8	17,0
	Érables	3,182	-9,616	0,26	166	22,0
	Frêne noir	3,137	-12,683	1,20	5	170
	Tilleul d'Amérique	3,128	-8,648	-	4	17,0
	Chêne	2,948	-7,344	0,69	39	18,0
6. Pin, chêne	Pin blanc	3,477	-14,375	0,21	454	33,5
	Pin rouge	3,354	-13,042	0,35	179	21,5
	Pin gris	2,873	-4,509	0,55	9	16,7
	Épinette noire	3,765	-23,527	1,00	8	19,8
	Épinette blanche	3,390	-15,915	0,37	76	28,5
	Sapin baumier	3,272	-12,118	0,43	27	21,0
	Peuplier	3,291	-9,940	0,45	65	23,0
	Bouleau à papier	3,142	-7,482	0,46	49	23,0
	Érables	3,062	-8,474	0,26	262	25,0
	Frêne noir	2,673	-2,848	1,01	8	18,5
	Chêne	3,125	-10,807	0,19	458	22,5
7. Cèdre, frêne, épinette	Épinette noire	3,608	-15,735	0,69	16	23,0
	Thuya occidental	3,060	-10,865	0,68	32	19,0
	Frêne	2,844	-4,100	0,54	44	17,0
8. Autres bois mélangés	Pin blanc	3,632	-16,871	0,56	53	35,1
	Épinette blanche	3,310	-16,791	0,41	45	20,6
	Sapin baumier	3,201	-11,196	0,51	19	17,5
	Peuplier	3,415	-11,584	0,44	66	24,5
	Bouleau à papier	3,065	-10,572	0,54	29	16,9
	Érable	3,246	-10,517	0,41	116	20,0
	Chêne	2,994	-8,755	0,71	26	20,0
9. Érable, bouleau	Pin blanc	3,405	-12,732	0,69	25	25,8
	Épinette blanche	3,788	-22,115	1,08	6	25,0
	Sapin baumier	3,297	-10,396	0,41	13	18,0
	Pruche du Canada	2,705	-5,454	1,09	8	17,0
	Peuplier	3,252	-7,928	0,42	15	23,0
	Bouleau à papier	3,105	-6,143	0,65	36	21,0
	Érables	3,161	-8,850	0,51	96	21,0

Strate	Espèces	Coefficients a	Coefficients b	ETE[1]	N[2]	Hauteur max. (m)
10. Chêne	Pin blanc	3,209	-13,656	0,32	189	25,0
	Pin rouge	3,004	-7,261	1,01	15	20,2
	Épinette noire	3,632	-15,783	0,85	19	23,3
	Épinette blanche	2,909	-12,053	0,55	40	17,2
	Peuplier	3,417	-11,845	0,33	126	25,3
	Bouleau à papier	3,261	-8,860	0,30	65	22,0
	Érables	3,380	-12,633	0,30	249	19,0
	Frênes	3,007	-7,643	0,53	10	19,0
	Chêne	3,110	-10,952	0,14	705	20,0
11. Peuplier	Pin blanc	3,287	-13,109	0,46	71	29,7
	Pin rouge	3,134	-11,351	0,30	45	24,0
	Épinette blanche	2,863	-9,514	0,50	4	20,5
	Peuplier	3,327	-8,206	0,18	451	24,2
	Bouleau à papier	3,233	-7,109	0,31	87	21,0
	Érables	2,786	-5,050	0,26	134	17,5
	Frêne blanc	3,143	-6,799	-	3	21,0
	Frêne noir	3,230	-8,894	0,52	18	17,5
	Chêne	3,126	-8,768	0,38	68	21,2
12. Bouleau	Pin blanc	3,003	-12,434	0,61	11	13,0
	Épinette blanche	3,421	-20,870	0,72	12	19,5
	Peuplier	3,443	-11,739	0,49	17	27,0
	Bouleau à papier	3,234	-8,263	0,42	61	25,0
	Érables	3,017	-6,433	0,51	77	23,0
	Frêne noir	3,183	-9,642	0,98	10	19,3
	Chêne	3,475	-20,825	0,70	16	22,0
13. Autres feuillus	Hêtre à grandes feuilles	3,182	-7,844	1,10	42	20,3
	Chêne	3,072	-5,529	0,78	12	20,0
14. Toutes les zones (moyenne)	Pin blanc	3,443	-15,125	0,05	1825	35,1
	Pin rouge	3,395	-13,281	0,05	616	28,0
	Pin gris	3,209	-11,758	0,11	126	22,0
	Épinette noire	3,520	-16,094	0,17	139	24,8
	Épinette blanche	3,513	-17,376	0,08	524	28,5
	Sapin baumier	3,152	-10,924	0,06	395	21,0
	Mélèze européen	2,991	-7,182	0,24	58	17,0
	Thuya occidental	3,075	-13,299	0,21	76	19,0
	Pruche du Canada	2,705	-5,454	1,02	9	17,0
	Peuplier	3,337	-9,341	0,06	1342	26,0
	Bouleau à papier	3,280	-9,964	0,09	751	23,0
	Bouleau jaune	3,262	-13,837	0,40	36	18,0
	Érables	3,310	-10,764	0,05	1540	25,0
	Frênes	3,001	-7,643	0,13	126	21,0
	Tilleul d'Amérique	3,128	-8,648	0,65	33	23,0
	Hêtre à grandes feuilles	3,071	-7,073	9,32	67	25,0
	Chêne	3,055	-9,569	0,05	1422	-
	Autres feuillus	3,000	-8,000	-	153	-

Annexe 5

Formules d'échantillonnage aléatoire simples

1. Volume moyen par placette pour chaque strate ou type

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{n} y_i$$

où $\bar{y}$ = volume moyen pour la strate ou le type (m^3 par placette)
n = nombre de placettes pour la strate ou le type
y_i = volume pour la placette i (m^3)

2. Erreur type d'estimation pour chaque strate ou type

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum^{n} (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n-1} \left(\Sigma y_i^2 - \frac{(\Sigma y_i)^2}{n} \right)$$

s^2 = variance pour la strate ou le type

où $s(\bar{y}) = \sqrt{s^2/n}$
= erreur type d'estimation de $\bar{y}$ (m^3)
et % = $100\ s(\bar{y})/\bar{y}$
= erreur type d'estimation de $\bar{y}$ (%)

3. Volumes totaux pour chaque strate ou type

$Y = 25\ \bar{y}\ A$ où A = superficie pour la strate ou pour l'âge (ha)

= volume total pour la strate ou le type

Note: L'utilisation de ces formules suppose que le facteur de correction pour population finie est négligeable et que la superficie des placettes est de 1/25 ha ou 400 m^2.

Annexe 6

Exemple de données de placette d'échantillonnage permanente

1. Placette principale (400 m²)

N° de la placette	Déterioration	N° du peuplement	N° de la strate	Arbre N°	Arbre État	Arbre Statut	Arbre Espèces	1980 Dhp (cm)	1980 Ht. (m)	1980 V_t (m^3)	1980 V_m (m^3)	1985 Dhp (cm)	1985 Ht. (m)	1985 V_t (m^3)	1985 V_m (m^3)
31	7	482	6	1	3	1	710	12,7	14,1	,080	,064	12,7	14,1	,079	,063
				2	3	1	800	9,2	12,2	,034	-	9,8	12,5	,040	-
				3	3	1	983	11,7	10,3	,052	,043	12,0	10,6	,056	,047
				4	1	1	20	28,0	20,7	,559	,536	30,7	21,6	,698	,671
				5	2	1	20	18,6	16,2	,199	,186	18,6	16,2	,199	,186
				6	2	2	20	28,0	20,7	,559	,536	28,4	20,8	,579	,555
				7	3	4	970	8,1	4,1	,011	-	8,1	4,1	,011	-
				8	0	5	970	8,3	4,1	,011	-	8,3	4,1	,011	-
				9	3	1	800	10,9	12,9	,051	,041	11,9	13,3	,062	,052
				10	0	5	800	8,7	11,9	,030	-	8,9	12,0	,032	-

V_t = volume total brut
V_m = volume commercialisable brut

Détérioration de la placette

Code	Nom
1	Exploitation forestière
2	Chablis
3	Incendie
4	Insectes
5	Maladie
6	Autres
7	Aucune
9	Manquante

État des arbres

Code	Nom
1	Sain
2	Pourriture de la tige
3	Carpophores
4	Endommagé
5	Mort

Statut des arbres

Code	Nom
1	Dominants
2	Codominants
3	Intermédiaires
4	Supprimés
5	Sous-étage

2. Sous-placette (100 m²)

N° de la placette	Détérioration	N° du peuplement	N° de la strate	Espèces	Classe de dhp	Ht. (m)	1980 Fréquence	1980 V	1985 Fréquence	1985 V
31	7	482	6	970	1	1,3	4	,0002	7	,0004
				970	3	1,8	1	,0007	1	,0007
				970	5	2,8	2	,0057	2	,0057
				210	1	1,3	4	,0002	5	,0003
				210	3	1,8	1	,0007	1	,0007
				800	1	1,6	10	,0006	17	,0010
				800	3	5,7	3	,0054	3	,0054
				800	5	8,8	3	,0228	4	,0303
				800	7	10,8	1	,0178	0	-
				130	1	1,3	0	-	1	,0001

Fréquence = nombre d'arbres par classe
V = volume total brut de tous les arbres de la classe

Classe de dhp

Code	Étendue (cm)
1	0-2,0
3	2,1-4,0
5	4,1-6,0
7	6,1-8,0

Annexe 7

Exemple de tableau de stock - projections jusqu'en 1995

Strate: 1. - Pin
Espèces: Pin blanc
Superficie: 1653 ha

Dhp (cm)	Inventaire de 1980	Inventaire de 1985 volume (m^3/ha)	----- Projections ---- 1990	1995
10-12	0,7	0,7	0,6	0,5
13-16	2,1	1,6	1,4	1,4
17-20	3,5	3,3	2,3	1,9
21-24	9,1	7,1	6,0	5,0
25-28	14,3	11,0	10,2	8,3
29-32	15,2	19,5	22,5	24,1
33-36	18,0	13,9	14,8	16,3
37-40	21,5	22,3	22,1	19,4
41-44	12,5	18,8	27,2	38,8
45-48	4,7	6,0	15,4	23,1
49-52	3,6	5,5	7,5	12,1
53-56	4,4	4,6	2,3	3,5
57-60	2,5	2,6	5,3	2,6
61-64	2,9	3,1	-	3,0
65-68	-	-	3,4	3,6
69-72	-	-	-	-
TOTAL:	115,2	120,0	141,0	163,5

Annexe 8

Prévisions de volume par types forestiers

Type forestier	Superficie (ha)	Volume en 1985		Volume en 1995		Accroissement annuel	
		Moyenne (m^3/ha)	% (du total)	Moyenne (m^3/ha)	% (du total)	Moyenne (m^3/ha·an)	% (du total)
Résineux	2237	211	12	257	12	4,6	13
Bois mélangés	10830	229	64	273	64	4,4	61
Feuillus	5270	173	24	210	24	3,7	26
TOTAL	18337	210	100	253	100	4,3	100